

Rec'd PCT/PTO 26 JAN 2005



REC'D 15 AUG 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 34 347.0

Anmeldetag: 26. Juli 2002

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: GMR-Sensorelement und dessen Verwendung

IPC: G 01 R, H 02 K

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Aquirks

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

22.07.02 Kut

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

GMR-Sensorelement und dessen Verwendung

Stand der Technik

15

Der Giant Magneto-Resistive Effekt (GMR) lässt sich in Form sogenannter Spin-Valve-Strukturen (Spin-Ventile) für die Winkelsensierung nützen. Dies ist beispielsweise in WO 00/79298 wie auch in EP 0 905 523 A2 beschrieben. GMR-Spinvalves bestehen im Kern aus zwei ferromagnetischen Dünnschichten mit Magnetisierung m_1 und m_2 , die durch eine dazwischenliegende nichtmagnetische Dünnschicht separiert sind. Der elektrische Widerstand $R(\alpha)$ dieses GMR-Schichtsystems zeigt eine kosinusförmige Abhängigkeit vom Winkel α zwischen diesen beiden Magnetisierungsrichtungen:

20

$R(\alpha) = R_0 - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha)$. Die maximale relative Widerstandsänderung $\Delta R_{GMR}/R_0$ bezeichnet den GMR-Effekt und beträgt typischerweise 5 % bis 15%. Die GMR-Spinvalve-Schichtsysteme werden üblicherweise mittels Kathodenzerstäubung der jeweiligen Materialien abgeschieden und mittels üblicher Photolithographieverfahren und Ätztechniken strukturiert.

25

30

Wesentlich für die beabsichtigte Spin-Valve-Funktion ist eine starre, durch das magnetische Arbeitsfeld nicht veränderbare Magnetisierung m_1 der ersten ferromagnetischen Schicht, der sog. Reference Layer (RL), und eine sich leicht parallel zum Arbeitsfeld orientierende Magnetisierung m_2 der zweiten ferromagnetischen Schicht, der sog. Free Layer (FL). Um beides zu erreichen, werden zum einen die beiden ferromagnetischen Schichten RL und PL durch eine ausreichende Dicke der nichtmagnetischen Zwischenschicht (Nonmagnetic Layer NML) von typischerweise einigen Nanometern magnetisch entkoppelt und die Magnetisierung der Refe-

35

renzschicht (RL) z.B. durch eine zusätzliche direkt benachbarte
antiferromagnetische Schicht (natürlicher Antiferromagnet AF)
und deren gegenseitige magnetische Kopplung (Austauschwechsel-
wirkung) fixiert (gepinnt). Dies ist schematisch in Figur 1a
5 dargestellt. Eine weiter verbesserte Stabilisierung der Referenzmagnetisierung erzielt man durch Hinzufügen eines zusätzlichen sogenannten synthetischen Antiferromagneten (SAF). Dieser SAF besteht entsprechend Figur 1b aus zwei ferromagnetischen über eine nichtmagnetische Zwischenschicht stark antiferromagnetisch gekoppelten Schichten. Diejenige dieser beiden ferromagnetischen Schichten, die direkt neben dem natürlichen Antiferromagneten AF liegt, wird als Pinned Layer (PL) bezeichnet, da ihre Magnetisierung M_p infolge der Kopplung an den natürlichen Antiferromagnet fixiert (gepinnt) wird. Die zweite ferromagnetische Schicht des SAF, deren Magnetisierung M_r derjenigen des Pinned Layer infolge der antiferromagnetischen Kopplung entgegengesetzt orientiert ist, dient als Referenzschicht (RL) für das oben bereits beschriebene GMR-Spinvalve-Schichtsystem.

20 Um das winkelabhängige Nutzsignal zu extrahieren, werden bei einem GMR-Sensor vier Spinvalve-Widerstandselemente z. B. mittels Aluminium-Dünnschichtleiterbahnen zu einer Wheatstone-Brücke (Vollbrücke) zusammengeschaltet. Die maximale Signalamplitude erhält man bei entsprechend Figur 2 entgegengesetzt orientierten Referenzmagnetisierungen der Brückenwiderstände innerhalb der
25 Halbbrücken und gleich orientierten Referenzmagnetisierungen der in der Vollbrücke diagonal liegenden Widerstände. Ein GMR-Winkelsensor besitzt üblicherweise weiter noch eine zweite Vollbrücke aus GMR-Widerständen, deren Referenzrichtungen, wie in Figur 2 gezeigt, relativ zu denen der ersten Vollbrücke um 90° verdreht sind. Das zweite Brückensignal ist dadurch relativ zum ersten Brückensignal um 90° phasenverschoben. Durch Arcustangensbildung bzw. dementsprechenden Algorithmen (z.B. CORDIC-Algorithmus) wird aus den beiden kosinus- bzw. sinusförmigen
30 Brückensignalen der über eine volle 360° -Umdrehung eindeutige Winkel bestimmt.

Die unterschiedlichen Referenz-Magnetisierungsrichtungen werden z.B. dadurch realisiert, dass die Brückenwiderstände lokal über
40 die Blockingtemperatur (Neeltemperatur) der antiferromagnetischen Schicht (AF) erhitzt werden, d.h. deren antiferromagnetischen

sche Spin-Ordnung aufgehoben wird, und danach im Magnetfeld geeigneter Feldrichtung abgekühlt werden. Beim dabei erneuten Ausbilden der antiferromagnetischen Phase wird deren Vorzugsachse parallel zur Feldrichtung eingefroren. Folglich wird damit auch die Magnetisierung der benachbarten ferromagnetischen Schicht (Pinned Layer PL) in Richtung des äußeren Feldes fixiert. Das lokale Aufheizen der Brückenwiderstände kann z.B. mittels eines kurzen Laser- oder Strompulses erfolgen. Der Strompuls kann direkt durch die GMR-Leiterstruktur oder/und einen zusätzlichen Heizleiter getrieben werden.

Bei den bekannten GMR-Winkelsensoren wird die Referenzmagnetisierung M_r der einzelnen Brückenwiderstände entweder parallel oder senkrecht zur GMR-Streifenrichtung gewählt. Das dient dazu, den Einfluss der Formanisotropie gering zu halten. Weiterhin werden die GMR-Dünnschichtstreifen aller Widerstände einer Vollbrücke bevorzugt parallel ausgerichtet. Das dient zur Unterdrückung des Signalbeitrags aufgrund des überlagerten Anisotrop-Magnetoresistiven-Effekts. Der AMR-Signalbeitrag beruht dabei auf einer Abhängigkeit des Widerstands vom Winkel α zwischen Strom- und Magnetisierungsrichtung der Form:

$R(\vartheta) = R_0 + 0,5 \cdot \Delta R_{AMR} \cdot \cos(2 \cdot \vartheta)$.) Werden dagegen die Halbbrücken-Widerstände mit orthogonaler Ausrichtung ihrer GMR-Streifen realisiert, wie beispielsweise gemäß Figur 10 in WO 00/79298, dann wird der AMR-Signalbeitrag sogar maximal begünstigt. Das wirkt sich verschlechternd auf die Winkelgenauigkeit des GMR-Winkelsensors aus.

Aufgabe und Vorteile der Erfindung

Aus den vorgenannten Gründen weisen bekannte GMR-Winkelsensoren keine rotationssymmetrische Anordnung der Brückenwiderstände auf. Beide Vollbrücken sind üblicherweise lateral nebeneinander angeordnet.

Aufgrund der fehlenden Rotationssymmetrie besitzen bekannte Sensoren eine erhöhte Empfindlichkeit bezüglich der Richtungsinhomogenität des Geberfeldes sowie bezüglich Temperaturgradienten. Dadurch, dass bei bekannten Sensoren die Pinning- bzw. Referenzrichtung innerhalb eines Brückenwiderstandes nur einen festen

Winkel zur Streifenrichtung aufweist, bieten diese Sensoren weiter nicht die Möglichkeit, formanisotropiebedingte Einflüsse auf das Pinningverhalten und diesbezügliche Nachteile auf die Winkel-Sensierungsgenauigkeit herauszumitteln.

Für einen 360° erfassenden Winkelsensor ist eine Rotationssymmetrie im Sensordesign vorteilhaft, um nicht bereits durch eine Unsymmetrie in der Widerstandsanordnung zusätzliche richtungsabhängige Winkelfehlerbeiträge zu erhalten.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung der Brückenwiderstände wird sowohl eine Rotationssymmetrie und damit eine reduzierte Empfindlichkeit gegenüber Feldrichtungs- und Temperaturinhomogenitäten erreicht, als auch der AMR-Signalbeitrag unterdrückt und der Formanisotropie-Einfluss auf das Pinningverhalten und die Winkel-Sensierungsgenauigkeit reduziert.

Insbesondere wird erfindungsgemäß vorteilhaft eine rotations-symmetrische, ineinander verschachtelte Anordnung der GMR-Widerstände zweier Vollbrücken und eine sich dadurch ergebende Reduktion der Empfindlichkeit bzgl. Feldrichtungs- und Temperaturinhomogenität erreicht.

Weiter ist erfindungsgemäß vorteilhaft eine Unterdrückung des störenden AMR-Signalbeitrags durch zusätzliche Aufteilung eines jeden Brückenwiderstands in zwei gleiche Hälften mit orthogonal zu einander orientierten GMR-Streifenrichtungen gegeben. Dadurch wird eine Erhöhung der Winkelgenauigkeit erzielt.

Daneben weisen alle Widerstandselemente dadurch, dass die Pinning- bzw. Referenzrichtung bevorzugt unter 45° zur GMR-Streifenrichtung gewählt wird, ein identisches Pinningverhalten auf. In diesem Fall besitzen die beiden Brückensignale zueinander eine 45°-Phasenverschiebung.

Vorteilhaft ist zudem, dass sich dadurch, dass die GMR-Streifenrichtung bei jeweils einem der beiden Teilbrückenwiderstände parallel und bei dem jeweils anderen Teilbrückenwiderstand senkrecht zur Pinning- bzw. Referenzrichtung Streifenrichtung gewählt wird, eine Mittelung des Einflusses von zur Streifenrichtung paralleler und senkrechter Pinningrichtungen inner-

halb eines jeden der Brückenwiderstände einstellt. Das Pinning-
verhalten ist dann wiederum für alle zweiteiligen Brückenwider-
stände identisch (Mittelung über jeweils beide Teile). Auch in
diesem Fall besitzen die beiden Brückensignale zueinander eine
45°-Phasenverschiebung.

Die um einen beliebigen Winkel ϕ , bevorzugt um $\phi = 45^\circ$, gegen-
einander phasenverschobenen Brückensignale können schließlich
durch eine Koordinatentransformation auf orthogonale Signale mit
90°-Phasenverschiebung abgebildet werden. Aus letzteren kann
dann durch Arcustangensbildung bzw. dementsprechenden Algorith-
men, z.B. dem CORDIC-Algorithmus, der gesuchte Winkel bestimmt
werden. Die Koordinatentransformation bietet darüber hinaus den
Vorteil, dass herstellungsbedingte Schwankungen der Phasendif-
ferenz der beiden Brückensignale bei der Abbildung auf die or-
thogonalen Signale kompensierbar sind.

Zeichnungen

Es zeigt Figur 1a einen vereinfachten GMR-Spinvalve-Schichtaufbau mit zwei ferromag-
netischen Schichten RL und FL mit den Magnetisierungen m_1 und m_2 , einer nichtmagne-
tischen Zwischenschicht NML sowie einer antiferromagnetischen Schicht AF. Letztere
dient zum Fixieren (Pinnen) der Referenzmagnetisierung m_1 .

Figur 1b zeigt ein GMR-Spinvalve-Schichtsystem mit einem natürlichen Antiferro-
magneten AF und einem zusätzlichen synthetischen Antiferromagneten SAF sowie einer
nichtmagnetischen Zwischenschicht und einer ferromagnetischen freien Schicht FL.

Die Figur 2 zeigt ein Ersatzschaltbild für einen SIN-COS-Sensor mit zwei Vollbrücken,
wobei die Referenzmagnetisierungen M_R innerhalb der Brücken entgegengesetzt orien-
tiert und von Brücke zu Brücke um 90° verdreht sind. Die Referenz-
magnetisierungsrichtung ist üblicherweise parallel oder senkrecht zur Streifenrichtung
(siehe die ange deutete Streifenschar innerhalb der Widerstandsymbole).

Die Figur 3 zeigt eine rotationssymmetrische Anordnung der mäandrierten GMR-
Brückenwiderstände I/1 bis I/4 (Brücke I) und II/1 bis II/4 (Brücke II). Dabei sind die Re-
ferenzmagnetisierungsrichtungen (schwarze Pfeile) in Brücke I jeweils unter 45° zur

GMR-Streifenrichtung und die Referenzmagnetisierungsrichtungen in Brücke II um 45° gegenüber denjenigen in Brücke I gedreht.

Die Figur 4 zeigt ein Ersatzschaltbild zum Sensorlayout in Figur 3. Die Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung M_r ist jeweils unter 45° zur GMR-Streifenrichtung und in Brücke II um 45° gegenüber derjenigen in Brücke I gedreht. Es erfolgt eine Begünstigung des AMR-Signalbeitrags infolge zueinander orthogonaler Streifenrichtungen der Widerstände jeder Halbbrücke.

Die Figur 5a zeigt GMR-Sensorsignale U_1 und U_2 mit 45° -Phasenunterschied gemäß Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung unter 45° zur Streifenrichtung entsprechend Figur 3 bzw. 4. Die Figur 5b zeigt entsprechende transformierte, orthogonale GMR-Signale U_{\cos} und U_{\sin} mit 90° -Phasenunterschied. Der AMR-Signalbeitrag ist in Figur 5a und Figur 5b nicht dargestellt.

Die Figur 6 zeigt eine rotationssymmetrische Anordnung der mäandrierten GMR-Brückenwiderstände, wobei eine Unterdrückung des AMR-Signalbeitrags durch Aufteilung jedes der Brückenwiderstände in zwei gleiche Hälften mit zueinander orthogonalen GMR-Streifenrichtungen erfolgt.

Die Figur 7 zeigt ein Ersatzschaltbild zum Sensorlayout in Figur 6. Eine Unterdrückung des AMR-Signalbeitrags wird hier durch Aufteilung jedes Brückenwiderstands I/1, I/2 bis II/4 in zwei Hälften a und b mit zueinander orthogonalen GMR-Streifenrichtungen erreicht. Die Pinning- bzw. Referenzmagnetisierung M_r ist unter 45° zur jeweiligen GMR-Streifenrichtung orientiert.

Die Figur 8 zeigt ein Ersatzschaltbild zum Sensorlayout in Figur 6 mit zu Figur 7 alternativen Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtungen unter 0° und 90° zur GMR-Streifenrichtung bei jedem der Brückenwiderstände I/1, I/2 bis I/4. Eine Mittelung des Einflusses der Pinningrichtung erfolgt durch zur GMR-Streifenrichtung sowohl parallele als auch senkrechte Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung innerhalb jedes zweiteiligen Brückenwiderstandes I/1, I/2 bis I/4.

Ausführungsbeispiele

a) Rotationssymmetrische Anordnung

Die Figur 3 zeigt eine mögliche rotationssymmetrische Anordnung der insgesamt 8 Brückenwiderstände zweier Vollbrücken wie sie schon für die Herstellung von AMR-Winkelsensoren verwendet wurde. Diese ist prinzipiell auch für GMR-Winkelsensoren verwendbar. Im Gegensatz zum AMR-Sensor, bei dem die Referenzrichtung durch die Stromrichtung (definiert durch die Streifenrichtung) gegeben ist, wird beim GMR-Winkelsensor die Referenzrichtung durch die Magnetisierungsrichtung der Referenzschicht (RL) definiert. Prinzipiell kann die Pinning- bzw. Referenzrichtung beliebig gewählt werden, um jedoch bei allen Brückenwiderständen dasselbe Pinningverhalten zu erhalten, wird erfindungsgemäß eine Orientierung der Pinning- bzw. Referenzrichtung unter 45° zur Streifenrichtung bevorzugt. Verdeutlicht wird dies in Figur 4, wo neben der Streifenrichtung (Streifenschar innerhalb der Widerstandssymbole) auch die Richtung der Referenzmagnetisierung M_R angegeben ist.

b) Abbildung auf orthogonale Signale

Im Fall der Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung unter 45° zur GMR-Streifenrichtung weisen die beiden Brückensignale U_1 und U_2 gemäß Figur 5a nicht die übliche 90°, sondern nur ein 45°-Phasenverschiebung auf. Diese Sensorsignale können jedoch auf einfache Weise auf die orthogonalen, kosinus- und sinusförmigen Signale in Figur 5b transformiert werden. Hierzu wird in der Sensor-Auswertelektronik folgende Transformation durchgeführt:

$$\begin{pmatrix} U_{\cos} \\ U_{\sin} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} U_1 \\ \frac{U_1 \cdot \cos(\varphi) - U_2}{\sin(\varphi)} \end{pmatrix}$$

Hierbei bezeichnet φ die Phasenverschiebung des zweiten Brückensignals relativ zum ersten Brückensignal. Diese kann prinzipiell beliebig gewählt werden. Erfindungsgemäß wird jedoch eine Phasenverschiebung von 45° bevorzugt. Aus den mittels dieser Trans-

formation erhaltenen kosinus- und sinusförmigen Signalen kann durch Arcustangens-Bildung bzw. durch Anwendung eines entsprechenden Algorithmus wie z.B. des CORDIC-Algorithmus in der Sensor-Auswerteelektronik der Winkel bestimmt werden:

5

$$\alpha_{mess} = \arctan\left(\frac{U_{\sin}}{U_{\cos}}\right)$$

10

Die Implementation dieser Koordinatentransformation bietet darüber hinaus den wichtigen Vorteil, dass herstellungsbedingte Schwankungen der Phasenverschiebung der beiden Brückensignale sensorspezifisch bei der Abbildung auf orthogonale Signale (90°-Phasenverschiebung) erfasst und kompensiert werden. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass beim Offset- und Amplitudenabgleich der Signale am Bandende (Ende der Produktionslinie) auch die Phasenverschiebung φ bestimmt wird, z.B. mittels Fourieranalyse der beiden Brückensignale, und in der Sensor-Auswerteelektronik gespeichert wird.

15

20

c) Rotationssymmetrische Anordnung mit Unterdrückung des AMR-Signalbeitrags

25

30

35

Die in Figur 3 dargestellte Widerstandsanordnung begünstigt den AMR-Signalbeitrag, da die GMR-Streifenrichtungen der beiden Brückenwiderstände einer jeden Halbbrücke orthogonal zu einander stehen. Dieser Nachteil kann vermieden werden, indem man gemäß der bevorzugten, ebenfalls rotationssymmetrischen Anordnung gemäß Figur 6 jeden Brückenwiderstand aus zwei gleichen Hälften mit senkrecht zueinander stehenden GMR-Streifenrichtungen zusammensetzt. Durch die Reihenschaltung der beiden Teilwiderstände mit jeweils identischer Referenzmagnetisierung wird der AMR-Anteil herausgefiltert, während der GMR-Signalanteil infolge bei beiden Teilwiderständen identischer Referenzmagnetisierungsrichtung unverändert bleibt. Verdeutlicht wird dieser Sachverhalt durch folgende Beziehung für einen zweiteiligen Brückenwiderstand:

$$\begin{aligned}
 R(\alpha) &= \underbrace{\frac{1}{2} \cdot (R_0 - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha) + 0,5 \cdot \Delta R_{AMR} \cdot \cos(2\vartheta))}_{1. \text{ Teilwiderstand}} \\
 &+ \underbrace{\frac{1}{2} \cdot (R_0 - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha) + 0,5 \cdot \Delta R_{AMR} \cdot \cos(2(\vartheta - 90)))}_{2. \text{ Teilwiderstand}} \\
 &= R_0 - 0,5 \cdot \Delta R_{GMR} \cdot \cos(\alpha)
 \end{aligned}$$

Hierbei bezeichnet α den Winkel zwischen Feld- bzw. Magnetisierungsrichtung der freien ferromagnetischen Schicht (FL) und der Referenzmagnetisierungsrichtung; θ bezeichnet den Winkel zwischen Feld- bzw. Magnetisierungsrichtung der freien Schicht (FL) und der GMR-Streifenrichtung des ersten Teilwiderstands. Die Streifenrichtung des zweiten Teilwiderstands ist um -90° zu der des ersten Teilwiderstands gedreht.

d) Pinningverhalten

Die Figur 7 verdeutlicht die Aufteilung der Brückenwiderstände in jeweils zwei Hälften mit zueinander orthogonalen Streifenrichtungen jedoch identischer Referenzmagnetisierungsrichtung. Prinzipiell kann die Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung beliebig gewählt werden. Bevorzugt wird jedoch eine Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung unter 45° zur jeweiligen Streifenrichtung, denn dadurch wird für alle Teilwiderstände ein identisches Pinningverhalten erreicht.

Alternativ wird auch eine Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung bevorzugt, die bei jeweils einem der beiden Teilwiderstände parallel zur Streifenrichtung und bei dem jeweils anderen Teilwiderstand senkrecht zur Streifenrichtung orientiert. Dadurch wird zwar bei den einzelnen Teilwiderständen ein unterschiedliches, jedoch bei jedem Brückenwiderstand als Reihenschaltung der beiden Teilwiderstände insgesamt wiederum ein identisches Pinningverhalten erreicht. Diese Wahl der Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung bietet gegenüber bekannten Sensoren den Vorteil, das innerhalb eines jeden Brückenwiderstands über das unterschiedliche Pinningverhalten von paralleler und senkrechter Ausrichtung der Pinning- bzw. Referenzmagnetisierungsrichtung zur GMR-Streifenrichtung gemittelt wird.

Der beschriebene 360° GMR-Winkelsensor eignet sich zur Detektion der Absolutposition der Nockenwelle, einer Motorlage eines elektrisch kommutierten Motors und in der Lenkwinkelsensorik in Kraftfahrzeugen.

22.07.02 Kut

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Patentansprüche

1. GMR-Sensorelement mit einer rotationssymmetrischen, ineinander verschachtelten Anordnung von GMR-Widerständen, die zu zwei Wheatston'schen Vollbrücken miteinander verschaltet sind.

15

2. GMR-Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass damit eine Winkelmessung über 360° durchführbar ist.

20

3. GMR-Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, jeder Brückenwiderstand der Wheatston'schen Vollbrücken in zwei gleiche Hälften mit orthogonal zu einander orientierten GMR-Streifenrichtungen unterteilt ist.

25

4. Verwendung eines GMR-Sensorelementes nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Detektion der Absolutposition der Nockenwelle, einer Motorlage eines elektrisch kommutierten Motors oder in der Lenkwinkelsensorik in Kraftfahrzeugen.

22.07.02 Kut

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

GMR-Sensorelement und dessen Verwendung

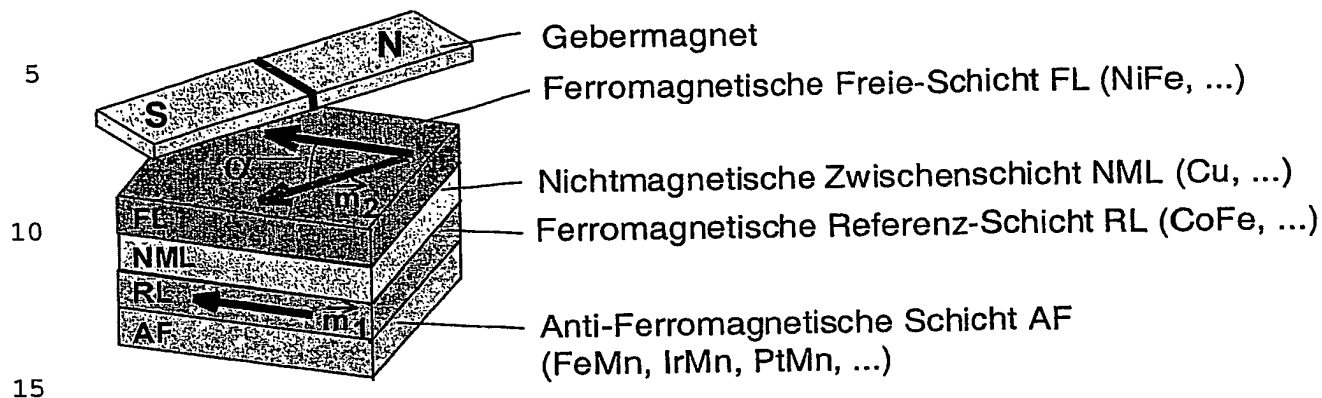
Zusammenfassung

15

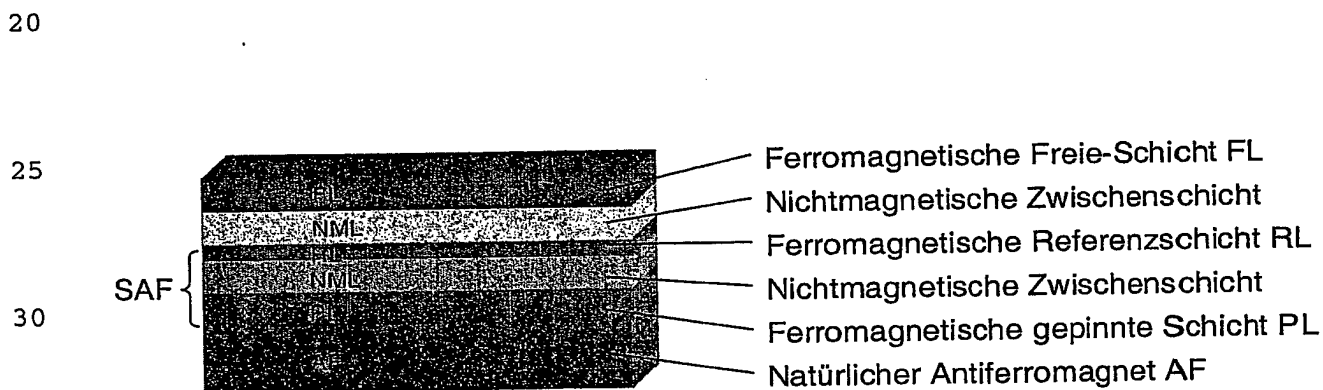
Es wird ein GMR-Sensorelement mit einer rotationssymmetrischen, ineinander verschachtelten Anordnung von GMR-Widerständen vorgeschlagen, die zu zwei Wheatston'schen Vollbrücken miteinander verschaltet sind. Dieses Sensorelement eignet sich zur Detektion der Absolutposition der Nockenwelle, einer Motorlage eines elektrisch kommutierten Motors oder in der Lenkwinkelsensorik in Kraftfahrzeugen.

20

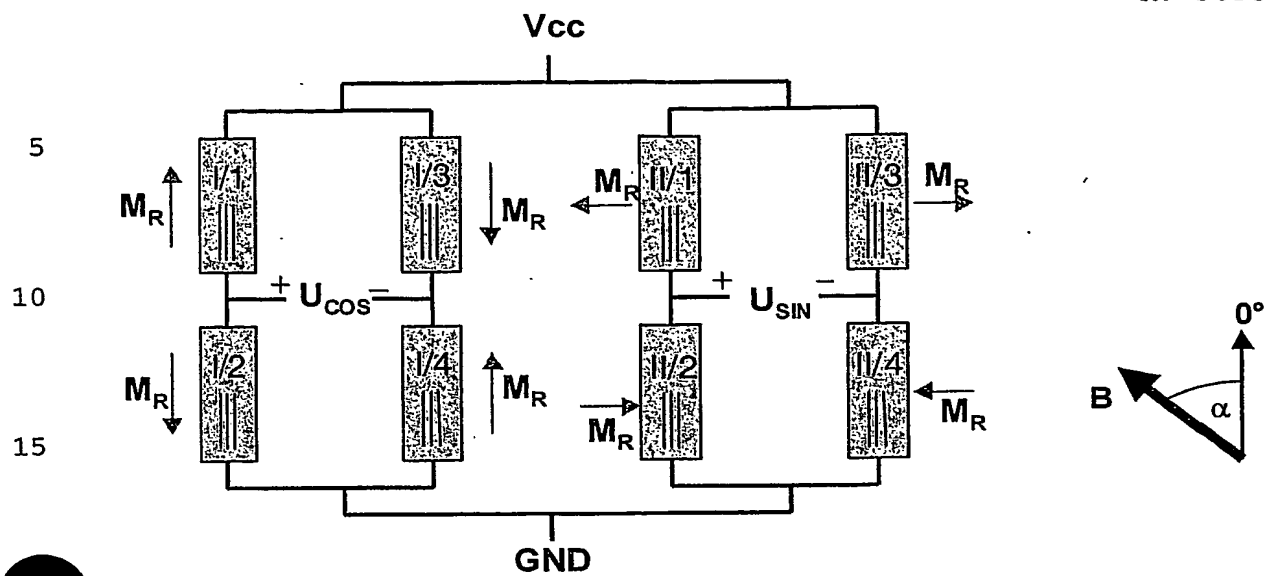
Figur 6



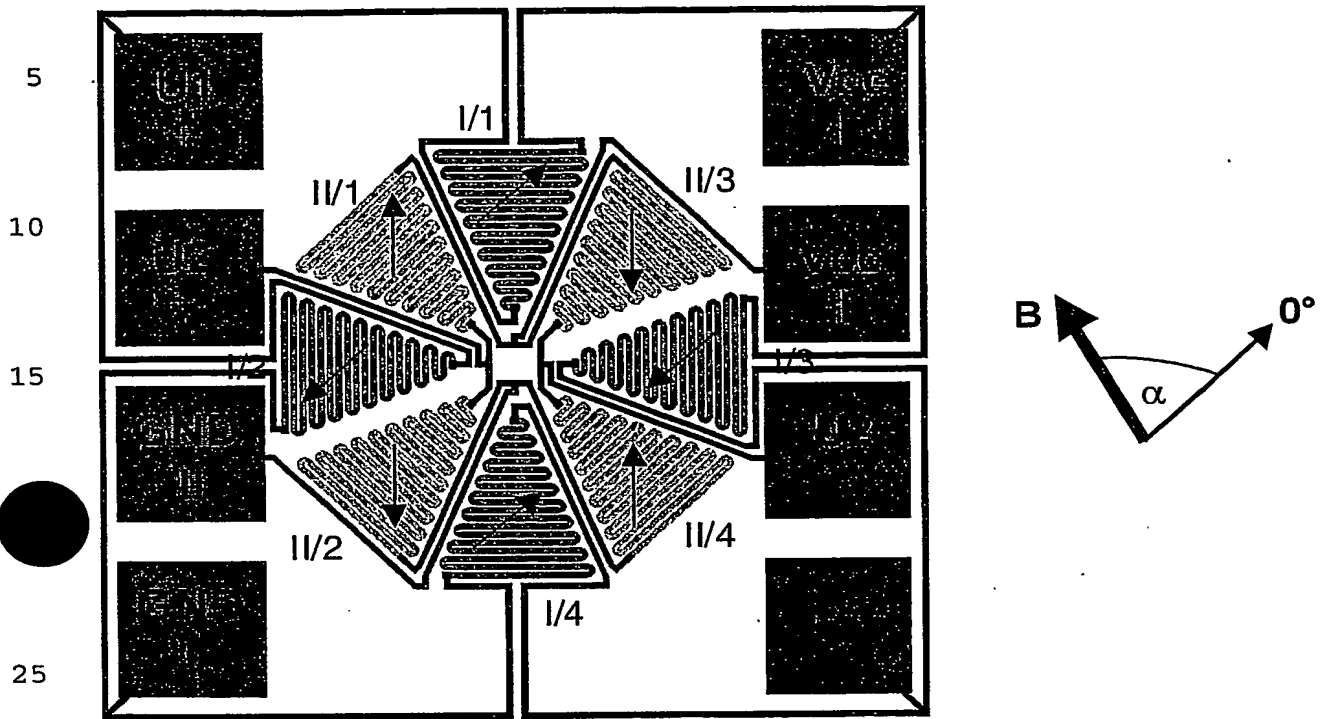
Figur 1a



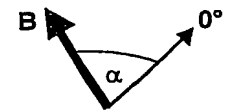
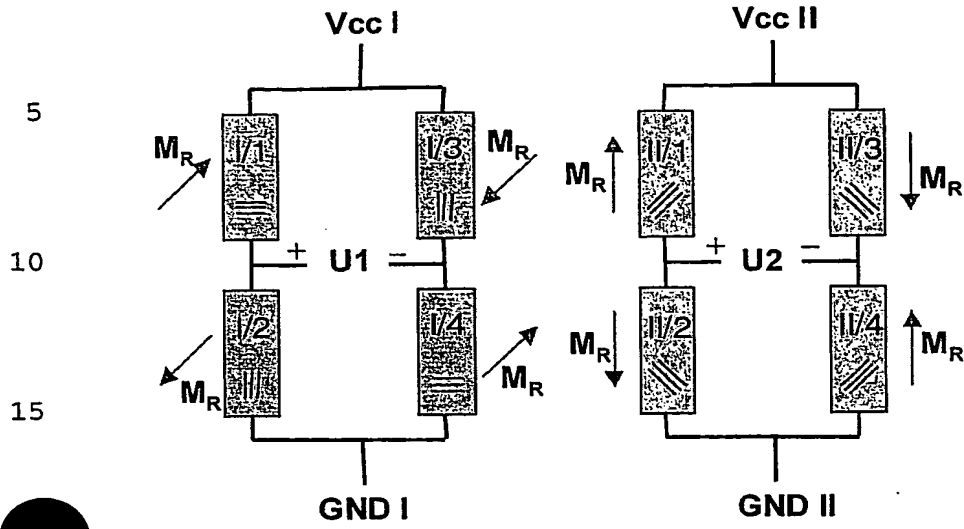
Figur 1b



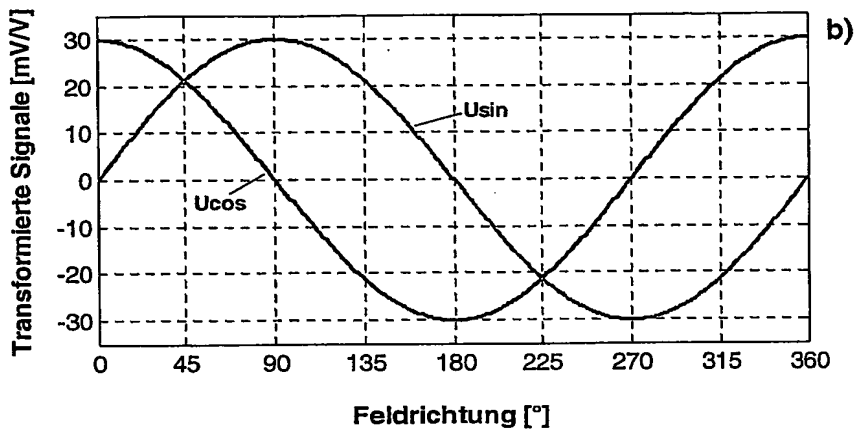
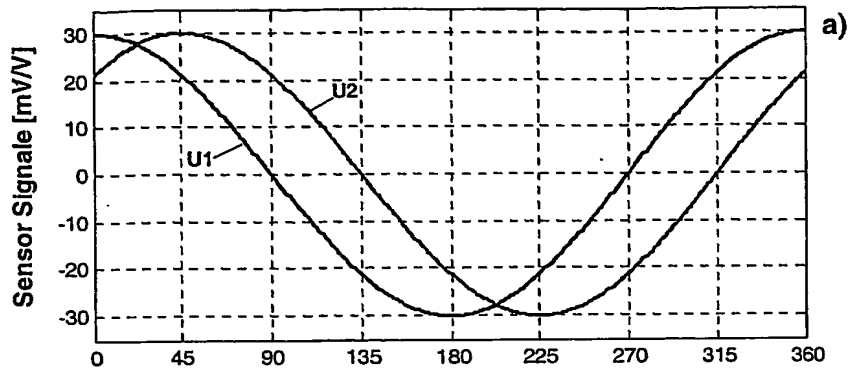
Figur 2



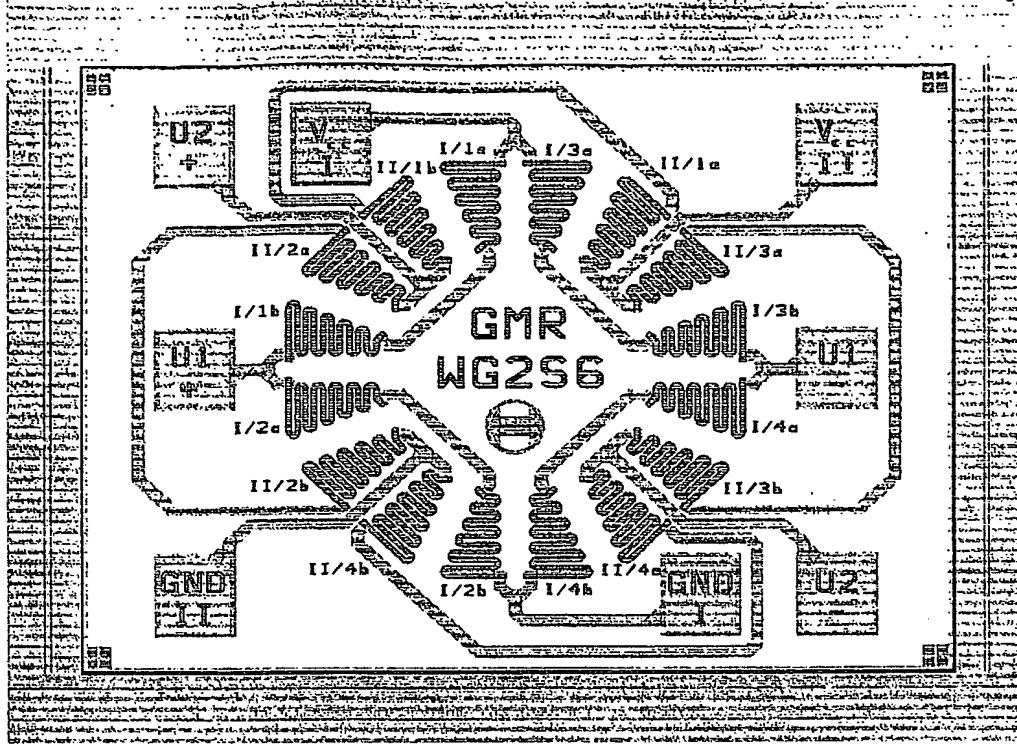
Figur 3



Figur 4

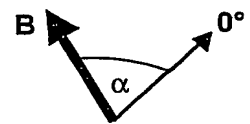
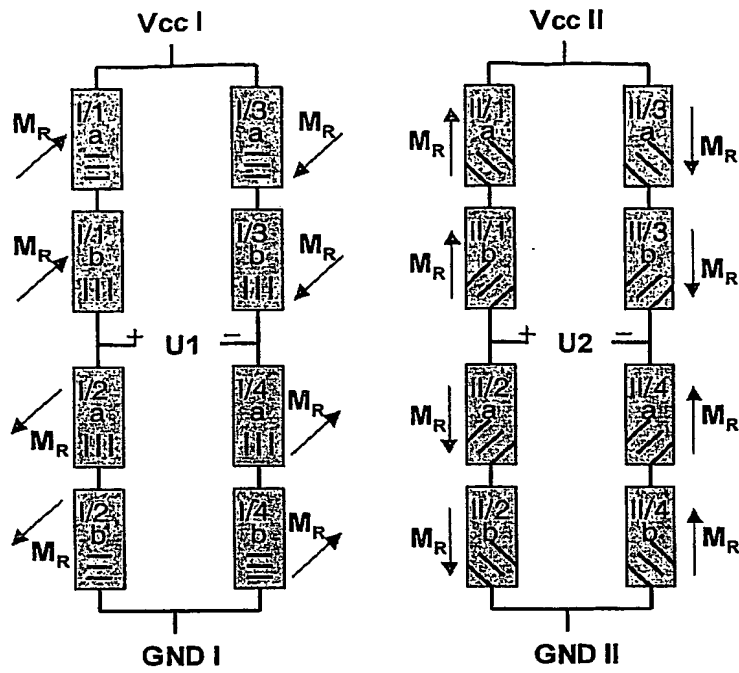


Figur 5a und Figur 5b

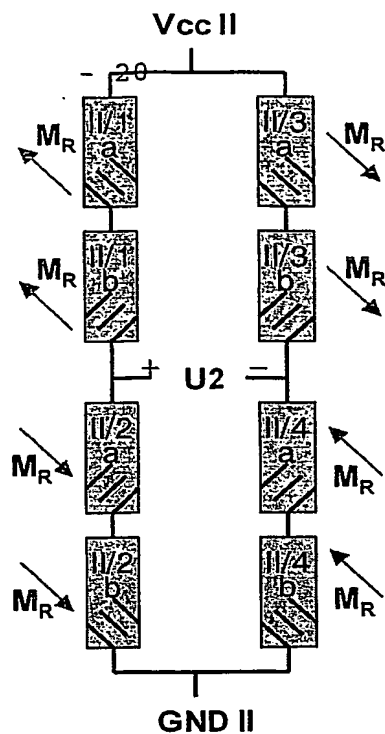
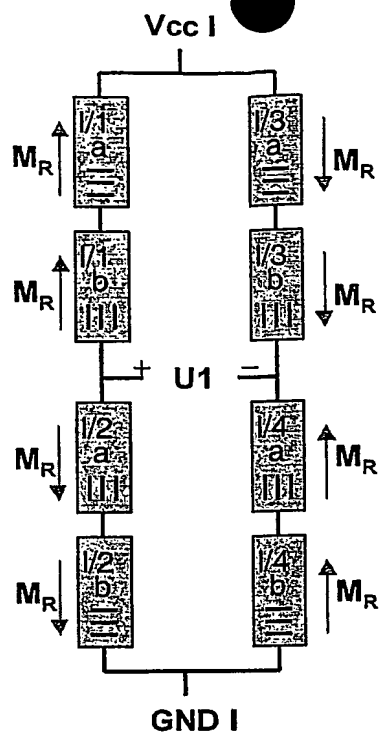


Figur 6

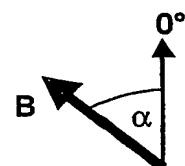
BEST AVAILABLE COPY



Figur 7



R. 303835



Figur 8